

DS/CDMA 시스템의 역방향 링크에서 일량용량 계산에 따른 사용자 수와 셀 커버리지

Capacity and Coverage according to Calculations of the Erlang Capacity in the Reverse Link of a DS/CDMA System

권 영 수 · 김 항 래* · 김 남**

Young-Soo Kwon · Hang-Rae Kim* · Nam Kim**

요 약

불완전 전력제어된 역방향 링크에서 일량용량과 링크마진을 구하는 각각의 차단확률을 유도하고, 시스템 파라미터와 차단확률이 같은 조건에서 그 값을 구하여 도시, 교외, 개방지역에서 사용자 수와 셀 커버리지와의 관계를 분석할 때 파라미터로 적용하였다. 이때 일량용량은 현실적인 셀 용량으로 적용될 수 있고, 링크마진의 적용은 셀 커버리지 계산에서 신뢰성을 높일 수 있었다. 차단확률이 5 % 이내에서 E_b/N_o 값을 7 dB에서 5 dB로 낮추는 경우에 링크마진을 2.8 dB로 똑같이 적용해도 셀 용량은 18 일량에서 31 일량으로 증가하였고, 이때 도시, 교외, 개방지역에서 셀 커버리지는 각각 0.4 km, 1 km, 2.5 km씩 증가하였다. 또한 E_b/N_o 값이 5 dB에서 차단확률을 5 %에서 2 %로 낮출 경우 링크마진은 0.88 dB 더 증가시켜야 하며, 이때 용량이 31 일량에서 3 일량 감소함에 따라 0.15 km, 0.5 km, 1.5 km 씩 줄어드는 범위 내에서 신뢰성을 높이고 양질의 서비스 제공이 가능하였다.

Abstract

In this paper, we derive an outage probability for the Erlang capacity and the link margin respectively, calculate them with the same parameters and outage probability, and then analyze a capacity and cell coverage in city, suburban, and open area. So, the Erlang capacity is more real than in a cell, and the cell coverage can be calculated with high reliability by the margin. When the E_b/N_o decreases from 7 dB to 5 dB within the outage probability of 5 %, it is observed that the capacity is increased from 18 Erlang to 31 Erlang with the same margin of 2.8 dB, then the coverage is increased to 0.4 km, 1 km, and 2.5 km in city, suburban, and open area respectively. Also if the outage probability is decreased from 5 % to 2 % in case of E_b/N_o of 5 dB, the result shows a very reliable link with additional increment of 0.88 dB in the margin and a high QoS (quality of service) within decrement of 0.15 km, 0.5 km, and 1.5 km for the same areas with decrement of 3 Erlang from 31 Erlang.

Key words : Outage Probability, Erlang Capacity, Link Margin, Cell Coverage

I. 서 론

CDMA 시스템의 채널 수는 TDMA와 FDMA 시스템처럼 고정되어 있지 않으며 다중 셀 간섭량에

주성대학 디지털정보통신공학과(Dept. of Digital Computer & Communication Engineering, Juseong College)

*충북대학교 정보통신공학과(Dept. of Computer & Communication Engineering, Chungbuk National University)

**충북대학교 컴퓨터정보통신연구소(Research Institute for Computer & Information Communication, Chungbuk National University)

· 논문 번호: 20020626-074

· 수정완료일자: 2002년 8월 7일

따라 결정되므로 매우 유동적이라 할 수 있다. 차단 확률을 구할 때도 명확한 차단조건은 없지만, 사용자 수가 증가할수록 간섭레벨이 증가하여 서비스 품질을 떨어뜨리는 결과를 초래하고 모든 사용자는 동일 무선주파수를 공유하기 때문에 FER(Frame Error Rate) 또는 호 차단율을 증가시킨다. 만일 서비스 제공자가 높은 간섭과 어느 정도 임계값에서 서비스 질을 허용한다면 연 차단(soft blocking)으로 차단확률을 구한다.

차단확률을 구하는데 중요한 차이점이 있는데, 참고문헌^[1]에서는 이항분포와 로그노멀 근사를 이용하여 차단의 기준으로 미리 정의한 에러율에 요구되는 SIR_{req} (Signal to Interference Ratio)값을 사용하며, 만약 그 값 이하로 되는 경우에 실패(failure)로 간주하고 여기서 셀 용량을 구하게 된다. 반면에 참고문헌^{[2],[3]}에서는 포아슨 분포와 가우시안 근사를 이용하여 차단의 기준으로 최대 허용가능 간섭값 η 를 사용하여 시스템에서 간섭에 의해 과부하가 걸릴 때 차단(blocking)으로 간주하고 여기서 열량용량을 구하는 것으로 즉, 열량용량은 채널 트래픽과 인접 셀의 간섭에 대한 확률분포를 고려해 동시에 발생하는 평균 사용자수를 계산하는 것이다. 트래픽 밀도는 열량이라는 단위로 측정할 수 있고, 트래픽 채널에서 통신로는 허용 가능한 BER(Bit Error Rate) 또는 적절한 차단확률을 유지하기 위해서 특정한 E_b/N_0 값을 필요로 하게 된다. 열량용량은 이러한 E_b/N_0 값에 반비례하고, 이 값이 작게 된다면 그만큼 열량용량이 증가한다^{[1],[2],[4]}.

불완전 전력제어 경우에 페이딩 또는 전파음영 효과에 의해 발생하는 신호레벨의 변동과 인접한 다중 셀 간섭에서도 신뢰성 유지를 위해서 핸드오프 방식에 따른 링크마진이 필요하며, 이를 위해 시스템 설계시 E_b/N_0 에 마진을 더해 적용한다^[5]. 역방향 링크에서 전력제어를 하지 않는 경우는 전파손실의 변동으로 인한 SIR 표준편차 값이 대체로 8 dB정도이지만, 완벽한 전력제어를 하는 경우는 표준편차가 0 dB이며, 현재는 모든 이동국이 전송하는 트래픽 채널의 전력레벨에서 수신된 E_b/N_0 의 변동폭을 줄이려고 전력제어를 하지만 대체로 1.5 dB에서 2.5 dB의 표준편차로 전력제어 오차가 발생한다^{[6],[7]}.

본 연구에서는 불완전 전력제어와 소프트 핸드오프를 적용한 CDMA 시스템에서 열량용량과 링크마진을 구하기 위해서 각각의 차단확률을 유도하였다. 여기서 시스템 파라미터와 차단확률이 동일한 조건에서 역방향 링크에서의 열량용량과 링크마진을 각각 계산하였다. 셀 커버리지를 계산할 때 적용할 셀 최대용량 값으로 참고문헌^{[1],[4]}에서 처럼 일반적인 상황에서 셀 최대용량 값을 구하는 대신에, CDMA 시스템의 실질적인 용량 값으로 채널 트래픽과 인접 셀의 간섭을 고려해 정해진 차단확률에서 각 열량용량을 구하여 파라미터로 적용하였다. 따라서, 이러한 열량용량에 따라 현실적인 채널 수를 계산할 수 있고, 셀 커버리지와 사용자 수라는 관점에서 보다 더 타당한 시스템 설계기준으로 적용될 수 있을 것이다. 여기서 구한 링크마진을 적용하여 도심, 교외, 개방지역에서 전파모델에 의한 전파손실을 각각 구하고, 열량용량 계산에 따른 사용자 수와 셀 커버리지와의 관계를 분석하였다.

II. 차단확률에 의한 열량 용량과 링크마진

2-1 차단확률에 의한 열량용량

CDMA 시스템의 역방향 링크모델은 일반적으로 사용자 수 N 은 평균이 N/μ 인 포아슨 분포를 이루고 있고, 음성 활동률 v 는 사용자의 활동상태의 유무를 나타내고 있으며, 수신된 SIR 값 $\epsilon(=E_b/I_0)$ 는 불완전 전력제어로 인하여 모든 사용자가 서로 다른 값을 갖는 분포를 이루고 있는 상황이라면, 동일 셀과 다른 셀에 속한 모든 이동체에 의한 간섭량으로 차단확률을 구하고자 할 때 여기서 언급된 N, v, ϵ 가 모두 랜덤변수이므로 이를 하나의 랜덤변수 Z 로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z = \sum_{i=1}^{N=N(1+\zeta)} v_i \epsilon_i + \sum_{j=1}^{other\ cell\ N=N(1+\zeta)} v_j \epsilon_{ij} \quad (1)$$

여기서 사용자 수 N 은 다중 셀인 경우에는 $N' = N(1+\zeta)$ 로 표시한다. 셀 용량을 구하기 위해서 차단확률을 구할 때 일반적으로 사용자 수가 작은 경우에는 로그노멀 분포를 사용하지만, 반면에 사용자 수가 많은 경우에는 대체로 가우시안 분포를 사용해서 구하는 것이 타당하다^{[1],[8]}. 본 연구에서는

일반적으로 많이 적용하는 가우시안 분포를 적용하고 위에서 언급한 랜덤변수 Z 에 대해서 가우시안 분포를 적용해 불완전 전력제어 경우와 다중 셀 간섭을 고려한 일반적인 차단확률을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{out} = P_r[Z > Z_o] = Q\left[\frac{Z_o - E[Z]}{\sqrt{Var(Z)}}\right] \quad (2)$$

여기서 Z_o 는 최대 허용 가능 간섭 값 η 를 기준으로 한 차단 임계값이고, Q 함수와 랜덤변수 Z 의 평균 및 제곱 평균값을 구하면 다음과 같다.

$$Z_o = \frac{(W/R)(1-\eta)}{e^{(\beta m)}} = \frac{(W/R)(1-\eta)}{(E_b/I_o)_{median}} \quad (3)$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt \quad (4)$$

$$E[Z] = (\lambda/\mu)\rho(1+\zeta)e^{(\beta o)^2/2} \quad (5)$$

$$Var[Z] = (\lambda/\mu)\rho(1+\zeta)e^{(2\beta o)^2} \quad (6)$$

여기서 랜덤변수 Z 의 평균 및 제곱 평균값을 구할 때 $\exp(\beta m)$ 값이 참고문헌^[2]에서처럼 나타나 있지 않은 데 이 값이 상수이기 때문에 나누어 계산하였고 이 때문에 Z 대신에 Z' 로 표현하였다. 반면에 참고문헌^{[6],[7]}에서는 이를 포함해서 중간 값으로 사용하였다. 또한 W/R 은 처리이득으로 칩 속도를 데이터 속도로 나눈 것이며, η 와 β 는 N_o/I_o 와 $\ln 10/10$ 이다. σ 는 전력제어 오차에 의한 SIR 표준편차 값으로 완벽한 전력제어를 하는 경우는 0 dB이며 불완전 전력제어 경우는 2.5 dB의 값을 나타낸다. ρ 는 평균 음성 활동율이다. 또한 m 은 E_b/I_o 의 평균이며, ζ 는 다중 셀에 의한 간섭 보정계수를 나타내며 본 연구에서는 참고문헌^[5]의 결과를 참조하여 두개 셀 간 소프트 핸드오프를 할 때 ζ 값으로 0.77을 적용한다. δ 가 영인 경우 단일 셀을 의미한다. 따라서 열량용량 계산은 차단확률과 셀의 섹터 이득 δ (셀을 3개 섹터로 120도로 나눈 경우 $\delta=2.5$)을 고려하여 3섹터로 구성된 셀의 열량용량은 다음과 같이 계산한다.

$$\lambda/\mu_{3-sector} = (\lambda/\mu) | P_{out} \cdot \delta \quad (7)$$

여기서 $(\lambda/\mu) | P_{out}$ 는 주어진 차단확률 P_{out} 값에 대한 섹터당 열량용량이고, 본 연구에서는 섹터당

열량용량을 적용한다.

2-2 차단확률에 의한 링크마진

먼저 단일 셀에서 차단확률을 고려한 링크마진 (M_{dB}) 계산은 셀 영역 범위 내에서 성공적인 동작이 가능해야 하지만, 이러한 신뢰성을 만족하지 못하고, 수신된 SIR 값이 필요 SIR_{req} 보다 낮을 경우 차단이 발생하게 된다. 따라서, 이 경우에 평균이 영인 한 개의 가우시안 랜덤변수 x 가 존재하며, 이 때 차단확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{out} &= P_r[(E_b/N_{o,med}(R_c) - \alpha x) < E_b/N_{o,req}] \\ &= P_r[x > \frac{E_b/N_{o,med}(R_c) - E_b/N_{o,req}}{\sigma}] \\ &= P_r[x > \frac{M_{dB}(R_c)}{\sigma}] = 1 - \Pr\left(\frac{M_{dB}(R_c)}{\sigma_{dB}}\right) \\ &= Q\left(\frac{M_{dB}(R_c)}{\sigma_{dB}}\right) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 $Q(x)$ 는 식 (4)와 같고, σ 는 불완전 전력제어로 인한 SIR 표준편차를 나타내며, $E_b/N_{o,max}(R_c)$ 은 셀 커버리지가 정확히 셀 반경($d_{max} = R_c$)에서 수신한 SIR 값이고, $E_b/N_{o,min}$ 은 필요한 SIR 값이다. 따라서, 링크 신뢰성을 위해서 E_b/N_o 에 M_{dB} 를 더해 적용해야 하며, 링크 마진은 미리 정한 차단확률과 식 (8)을 이용하여 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} M_{dB}(R_c) &= E_b/N_{o,med}(R_c) - E_b/N_{o,req} \\ &= \sigma_{dB} Q^{-1}(P_{out}) \end{aligned} \quad (9)$$

이 값은 단일 셀인 경우에 비해 핸드오프방식에 따라 이득이 증감되는데, 이동체가 셀 반경을 넘어 가더라도 신뢰성을 유지해야 하기 때문에 핸드오프방식에 따라 이 값은 조정될 필요가 있다.

마찬가지 방법으로, 두개 셀간 소프트 핸드오프 경우를 고려하면, 이동체가 이동하여 셀 경계지점으로 도달했을 때 두개 셀 가운데에 위치한 이동체에서 소프트 핸드오프 중 두개의 기지국까지의 각각 거리가 r 인 경우에 평균이 0 인 x, y 의 두개의 가우시안 랜덤변수가 존재하므로, 단일 셀인 경우와 비슷하게 여기서는 결합분포함수 형태로 차단확률을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{out} = P_r \left[\left(x > \frac{M_{dB}(r)}{\sigma} \right) \cup \left(y > \frac{M_{dB}(r)}{\sigma} \right) \right]$$

$$= \frac{1}{2\pi(1-k^2)} \int_{M_{dB}(r)/\sigma}^{\infty} dx \int_{M_{dB}(r)/\sigma}^{\infty} dy e^{-\frac{x^2 - 2xyk + y^2}{2(1-k^2)}} \quad (10)$$

여기서 $X = \bar{X} - \sigma_x = SIR_{med}(r) - \sigma$, $Y = \bar{Y} - \sigma_y = SIR_{med}(r) - \sigma$ 일 때 두 개의 SIR에 대한 상관관계 계수는 $k = E[(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})] / \sigma^2$ 이고 σ 는 전력제어 오차에 의한 SIR 표준편차로 완벽한 전력제어 경우는 0 dB이며 불완전 전력제어 경우는 2.5 dB이다. 두개 셀간 소프트핸드오프 경우에도 식 (10)으로부터 주어진 차단확률에 대해 링크마진을 계산할 수 있다.

III. 전파모델에 의한 최대 전파손실

전파손실은 신호가 전송되면서 여러 요인에 의한 손실을 포함하며, 우수한 전파모델은 거리 외에 사용 주파수, 주파수 범위, 안테나 높이, 지형지물의 밀집도 등의 파라미터를 함수로 하는 전파모델이 필요하다. 대체로 자유공간과 지형물(빌딩 등)에 의한 전파손실이 함께 있는 중소도시 지역에서 전파모델로 CCIR 모델을 적용하고, 교외 및 개방지역에서는 Hata 모델을 적용한다^{[6],[7]}. 따라서 이런 요소를 충실히 포함하는 CCIR/ Hata 전파모델을 적용하여 링크거리에 대한 전파손실을 다음과 같이 표현할 수 있다^[10].

$$PL_{dB} = K_1 + K_2 \log_{10} d_{km} - K_3 \quad (11)$$

여기서 K_1 , K_2 는 전파손실에 미치는 여러 요인을 포함하는 상수로 전파손실 계수를 나타내고, K_3 는 교외와 개방지역에 대한 소도시 공식의 보정계수로 K_{31} , K_{32} , K_{33} 으로 나타내어 각각 다음과 같다.

$$K_1 = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_{MHz} - 13.82 \log_{10} h_b - A_{h_m} \quad (12)$$

$$K_2 = 44.9 - 6.55 \log_{10} h_b \quad (13)$$

$$K_{31} = 30 - 25 \log_{10}(p) : \quad \text{도시지역} \quad (14)$$

$$K_{32} = 2[\log_{10}(f_{MHz}/26)]^2 + 5.4 : \quad \text{교외지역} \quad (15)$$

$$K_{33} = 4.78(\log_{10} f_{MHz})^2 - 18.33 \log_{10} f_{MHz} + 40.94 : \quad \text{개방지역} \quad (16)$$

또한 h_b 과 h_m 은 기지국 안테나높이와 이동국 안테나높이를 나타내고, f_{MHz} 는 중심주파수이며, $A_{h_m} = (1.1 \log_{10} f_{MHz} - 0.7)h_m - (1.56 \log_{10} f_{MHz} - 0.8)$ 는 중소도시에서 안테나 높이 이득 보정계수이며, p 는 도시 빌딩 점유율을 나타낸다.

셀 경계지점($d_{km} = R_{km}$)에서 최대 전파손실이 발생한다고 볼 수 있고, 불완전 전력제어를 하는 경우에 역방향 링크에서 최대 전파손실을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$PL_{max}(dBm) = P_{R_{no-loss}} - P_s$$

$$= P_{R_{no-loss}} - \left[P_{user1} + M_{dB} - 10 \log_{10} \left(1 - \frac{N}{N_{max}} \right) \right] \quad (17)$$

여기서 P_s 는 기지국 수신기에서 필요한 최소전력이고, 링크마진 M_{dB} 은 식 (9)와 (10)에서 구한 것이고, N/N_{max} 는 사용자 수와 셀 최대용량 값의 비로 셀 부하를 나타낸 것이다. 완벽한 전력제어를 하고 배경잡음을 무시한 이상적인 경우에는 식 (17)에서 M_{dB} 가 영으로 이때 역방향 링크에서 최대 전파손실 값을 나타낸다. 전파손실이 없는 경우 기지국에서 수신되는 이동체의 송신전력을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_{R_{no-loss}} = P_m + G_m - L_m - L_p - L_b + G_c - L_c \quad (18)$$

여기에서 각종 파라미터 값은 표 1에 나타나 있는 값을 모두 사용해서 계산할 수 있다. 한 명의 사용자에 대한 최소 필요 수신전력을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_{user1} = \frac{E_b}{N_o} + N_o + W - PG = E_b/N_{o_{req}} - 129.2 \quad (19)$$

여기에서 PG는 처리이득으로 21.1 dB이고, $N_o W$ (-108.1 dBm)는 기지국 수신기의 잡음지수가 5 dB 일 때 역방향 링크에서 잡음전력이며, 식 (17)에서 식 (8)과 (10)에서처럼 링크 신뢰성을 기하기 위해 P_{user1} 에 M_{dB} 을 더해 적용하였다.

식 (11)와 (17)을 이용해 셀 커버리지와 전파손실과 관계에 대해서 셀 경계지점($d_{km} = R_{km}$)에서 최대 전파손실을 링크거리의 함수로 다음과 같이 전파손실로 나타낼 수 있다.

표 1. CDMA 역방향 링크에서 전력 및 전파손실 파라미터

Table 1. Propagation loss parameters in CDMA reverse link.

파라미터	심 블	값
이동체 송신 전력	P_m	23 dBm
이동체 선로 손실	L_m	0 dB
이동체 안테나 이득	G_m	2.1 dBi
이동체 안테나 방향손실	L_p	3 dB
빌딩 투과 허용치	L_b	10 dB
기지국 안테나 이득	G_c	14.1 dBi
기지국 선로 손실	L_c	2 dB
기지국 안테나 높이	h_b	20, 30 m
이동국 안테나 높이	h_m	2 m
도시 빌딩 점유률	p	20, 30 %
중심 주파수	f_{MHz}	850 MHz
기지국에서 잡음전력	N_oW	-108.1dBm

$$PL(R_{km}) = PL_{max} (dBm) = PL_1 + K_2 \log_{10}(R_{km}) \quad (20)$$

또는 $K_2 = 10\mu$ 이므로 식 (20)을 최대 링크거리에 대해 다음과 같이 다시 표현할 수 있다.

$$R_{km} = \exp\left[\beta\left(\frac{PL_{max} - PL_1}{\mu}\right)\right] \quad (21)$$

여기서 β 는 $\ln 10/10$ 이고, PL_1 은 식 (11)에서 CCIR / Hata 전파모델을 적용한 전파손실 값으로 $K_1 - K_3$ 이고, μ 는 전파손실 계수이다

IV. 열량용량 계산에 따른 사용자 수와 셀 커버리지 결과 분석

열량용량과 링크마진 값을 계산할 때 각각의 차단확률을 구하는 식 (2)와 (10)에 동일한 차단확률의 값을 적용하고, 또한 시스템 파라미터로 표 2의 값을 똑같이 적용하였다. 셀 커버리지를 계산할 때 현실적인 셀 최대용량 값으로 열량용량을 적용하고, 역방향 링크에서 전파손실을 구하는데 링크의 신뢰성을 위해 링크마진을 적용한다. 완벽한 전력제어와 불완전 전력제어 경우의 SIR 표준편차는 0 dB와 2.5 dB로 적용하였다.

4.1 차단확률에 의한 열량용량 결과고찰

표 2. 열량 용량과 링크 마진 계산시 적용한 시뮬레이션 파라미터

Table 2. Simulation parameter for the Erlang capacity and link margin.

파라미터	기호	값
대역 폭	W	1.228 MHz
데이터 속도	R	9.6 Kbps
전파손실 계수	μ	4
SIR 평균	E_b/N_o	5 ~ 7 dB
SIR 표준편차	σ	2.5 dB
핸드오프방식		2 셀간 소프트 핸드오프
음성 활동율	ρ	0.4
다중 셀 간섭 부하 계수	ζ	0.77
전파음영표준편차	σ'	8 dB
차단 임계치	η	0.1

그림 1은 링크마진을 구할 때 적용한 각각의 차단확률 0.02, 0.05, 0.1과 동일한 파라미터로 완벽한 전력제어 및 불완전 전력제어 경우에 E_b/N_o 값 변화에 따른 열량용량을 각각 구한 결과이며, 수치 결과를 표 3에 나타내었다. 차단확률이 0.02일 때 불완전 전력제어에서 완벽한 전력제어를 한 경우에 비해 $E_b/N_o = 5$ dB, 6 dB, 7 dB에서 각각 9 열량, 6 열량, 7 열량씩 감소를 나타내었다. $E_b/N_o = 5$ dB에서 6 dB와 7 dB로 각각 높일 때 완벽한 전력제어 경우는 용량이 9 열량, 14 열량씩 감소하였고, 불완전 전력제어 경우는 6 열량, 12 열량씩 감소하였으며 또한 이때 차단확률이 0.05일 때 31 열량에서 7 열량,

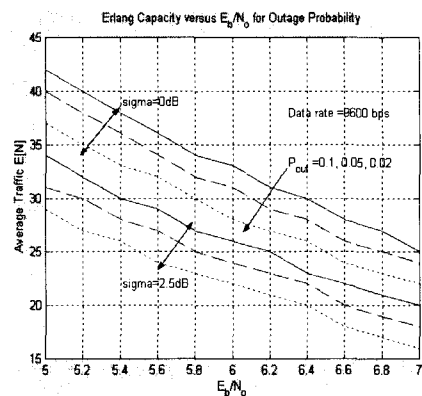


그림 1. 차단확률에 따른 요구되는 E_b/N_o 대 열량용량
Fig. 1. E_b/N_o versus Erlang capacity for the outage probability.

표 3. 차단확률에 따른 링크마진과 E_b/N_o 에 의한
일량용량

Table 3. Erlang capacity and link margin for the
outage probability.

셀 환경	차단확률 P_{out}	링크마진 M_{dB}	E_b/N_o 에 따른 일량		
			5dB	6dB	7dB
완벽한 전력제어 $\sigma=0$ dB	0.02	0	37	28	23
	0.05	0	40	31	24
	0.1	0	42	33	25
불완전전력 제어 $\sigma=2.5$ dB	0.02	3.68	28	22	16
	0.05	2.8	31	24	18
	0.1	1.93	34	27	20

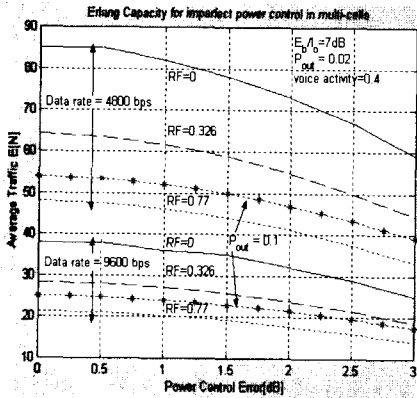


그림 2. 셀 환경을 고려한 전력제어 오차에 따른
일량용량

Fig. 2. Power control error versus Erlang capacity for cell environments.

13일량씩 감소하였으나 링크마진은 2.8 dB로 동일하였고, 차단확률이 0.1일 때 각각 34 일량에서 7 일량, 14 일량씩 감소하였다. $E_b/N_o=5$ dB에서 차단확률을 0.02에서 0.05와 0.1로 각각 높일 때 불완전 전력제어 경우에는 3 일량과 6 일량씩 증가하였으나 링크마진은 0.88 dB와 1.75 dB씩 줄어들었다.

그림 2는 단일 셀과 다중 셀, 데이터 속도 등 셀 환경을 고려해 차단확률 0.02, 0.1에서 전력제어 오차에 따른 일량용량을 구한 것이다. 전력제어 오차에 따라 일량용량을 단일 셀인 경우와 다중 셀인 경우를 비교하면, 단일 셀인 경우($\zeta=0$), 데이터 속도가 4800 bps, 9600 bps에서 각각 20 일량, 10 일량 이상 증가를 나타내고 있다. 데이터 속도의 차이로 인한 처리이득으로 40 일량 차이가 발생한다. 전파음영의 영향이 없는 모두 동일한 셀 반경을 가진 다중

셀($\zeta=0.326$)인 경우, 데이터 속도가 9600 bps에서 6 일량 정도 감소를 나타내었다. 두개 셀간 소프트 핸드오프를 하는 경우, 동일조건에서 5 일량 정도 감소하였다. 따라서, 전력제어 오차가 커질수록 어떤 조건이라도 일량용량이 감소하였고, 전력제어 오차가 2.5 dB 정도 있더라도 다중 셀에서 소프트 핸드오프를 하는 경우가 일량용량 감소가 제일 작다는 것을 알 수 있다.

4-2 일량용량 계산에 따른 셀 커버리지와 사용자 수 고찰

셀 커버리지와 사용자 수라는 관점에서 시스템 설계기준으로 앞서 구한 차단확률에 의한 일량용량을 CDMA시스템에서 실질적인 셀 최대용량으로 적용하고, E_b/N_o , 차단확률, 전력제어 오차, 도심지 빌딩 점유율, 안테나 높이 등 파라미터 값을 적용하여 도시, 교외, 개방지역에서 전파모델에 의한 전파손실과 일량용량 계산에 따른 사용자 수와 셀 커버리지와의 관계를 분석한다.

그림 3은 도심지역에서 전파모델로 CCIR 모델을 적용하고, 표 3에서 계산된 링크마진과 일량용량에 따른 사용자수에 대한 셀 커버리지 관계를 나타내었다. 불완전 전력제어 환경에서 빌딩 점유율이 20%에서 30%로 증가하는 경우 차단확률 0.02이고

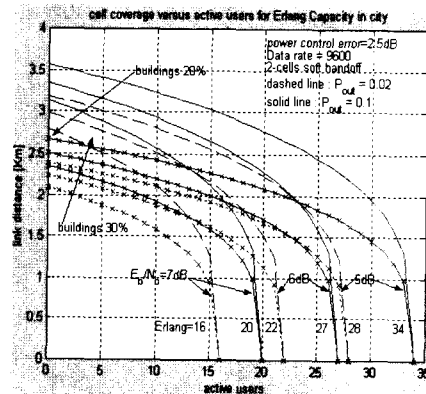


그림 3. 도심지역에서 $E_b/N_o=5$ dB, 6 dB, 7 dB 경우 일량용량에 따른 사용자수와 셀 커버리지
Fig. 3. Active user versus cell coverage for the Erlang capacity and $E_b/N_o=5$ dB, 6 dB, 7 dB in a city area.

$E_b/N_o = 5$ dB일 때 28 열량 기준으로 셀 커버리지가 3.2 km에서 2.4 km로 0.7 km 줄어들었다. 동일조건에서 $E_b/N_o = 7$ dB일 때 16 열량 기준으로 셀 커버리지가 2.8 km에서 2.1 km로 줄어들었고, 차단확률 0.1일 때 위와 동일조건에서 $E_b/N_o = 5$ dB와 7 dB에서 0.9 km, 0.8 km씩 줄어들었다. 이는 빌딩 등 장애물로 인한 전파음영과 페이딩 효과로 전력손실이 많아졌기 때문이다.

빌딩 점유율이 20 %인 불완전 전력제어에서 차단확률이 0.02와 0.1인 경우를 비교하면, 차단확률이 0.02인 경우 $E_b/N_o = 5$ dB, 6 dB, 7 dB에서 28 열량, 22 열량, 16 열량기준으로 셀 커버리지는 각각 3.2 km, 3 km, 2.8 km로 나타났고, E_b/N_o 의 1 dB씩 증가에 따라 각각 0.2 km, 0.4 km씩 감소하였다. 마찬가지로 차단확률 0.1인 경우 $E_b/N_o = 5$ dB, 6 dB, 7 dB에서 각각 34 열량, 27 열량, 20 열량 기준으로 셀 커버리지는 각각 3.6 km, 3.3 km, 3.1 km으로 E_b/N_o 의 1 dB씩 증가에 따라 0.3 km, 0.5 km씩 감소함을 알 수 있다.

그림 4에서 완벽한 전력제어 경우, 필요 $E_b/N_o = 5$ dB이고 차단확률이 각각 0.02, 0.05, 0.1일 때 용량은 37 열량, 40 열량, 42 열량이지만 셀 커버리지가 모두 4 km로 동일하였다. 이는 E_b/N_o 값의 변화 없이 완벽하게 전력제어를 하기 때문이고, 도심지에서 제일 긴 셀 커버리지를 나타내며, 셀의 사용자 수가 증가하면 셀 부하는 더 많아지므로 셀 커버리지가

점점 줄어든다는 것을 알 수 있다. 빌딩이 20 %로 점유하고 있는 도심지에서 필요 $E_b/N_o = 5$ dB이고 불완전 전력제어에서 차단확률이 0.02에 비해 0.05와 0.1로 증가하는 경우에 각각 28 열량, 31 열량, 34 열량 기준으로 셀 커버리지는 3.2 km에서 0.2 km, 0.4 km씩 증가하였다. 이는 셀 경계지점에서 전송해야하는 전력이 줄어들고, 또한 인접 셀에 의한 간섭 임계치가 높아지므로 셀 최대용량도 3 열량, 6 열량씩 증가해 셀 커버리지도 증가한다. 이때 완벽한 전력제어 경우에 비해서 셀 커버리지가 각각 0.8 km, 0.6 km, 0.4 km씩 줄어들었다.

그림 5와 6은 교외 및 개방지역에서 전파손실 모델로 Hata 모델을 적용해 완벽한 전력제어와 불완전 전력제어를 한 경우에 대해서 차단확률이 각각 0.02, 0.05, 0.1인 경우와 $E_b/N_o = 5$ dB와 7 dB인 경우를 서로 비교하기 위해 열량용량에 따른 사용자 수에 대한 셀 커버리지 관계를 나타내었다.

그림 5는 교외지역에서 완벽한 전력제어를 한 경우에 $E_b/N_o = 5$ dB와 7 dB인 경우 각각의 열량용량 기준으로 동일하게 셀 커버리지가 각각 9, 8 km으로 나타났고, E_b/N_o 가 2 dB 증가하면 1 km 감소한다. 불완전 전력제어인 경우, 차단확률이 각각 0.02, 0.05, 0.1인 경우를 비교하면 필요 $E_b/N_o = 5$ dB에서 셀 최대용량이 28 열량, 31 열량, 34 열량 기준으로 셀 커버리지는 각각 7 km, 7.5 km, 8 km로 차단확률의 증가에 따라 0.5 km씩 증가하였으며, 이는 셀

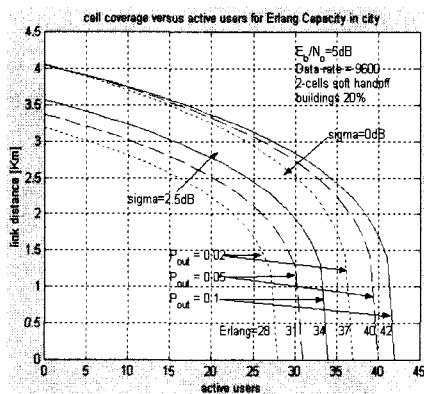


그림 4. 도심지역에서 차단확률과 열량 용량에 따른 사용자 수와 셀 커버리지

Fig. 4. Active user versus cell coverage for the Erlang capacity and outage probability in a city area.

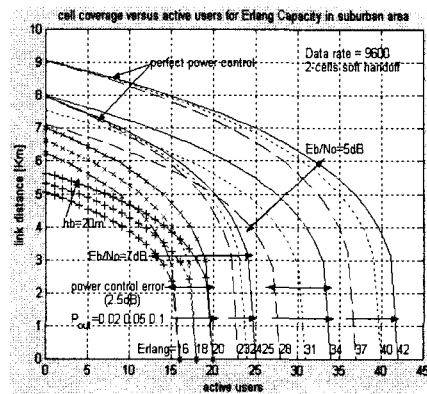


그림 5. 교외지역에서 열량용량에 따른 사용자 수와 셀 커버리지

Fig. 5. Active user versus cell coverage for the Erlang capacity in a suburban area.

경계지점에서 더 전송해야 하는 전력이 줄어들고, 인접 셀에 의한 간섭 임계치가 높아지기 때문에 최대 셀 용량도 3 얼랑씩 증가하고 셀 커버리지도 증가하였다. $E_b/N_0=7$ dB에서 차단확률의 증가에 따라 셀 최대용량이 16 얼랑, 18 얼랑, 20 얼랑 기준으로 셀 커버리지는 각각 6.2 km, 6.6 km, 7 km로 0.4 km 씩 증가하고, 안테나 높이를 30 m에서 20 m로 낮추면 셀 커버리지는 모두 동일하게 1.3 km 정도 감소하였으며, $E_b/N_0=5$ dB에서 2 dB 증가할 경우, 각각의 차단확률에 따라 거의 비슷하게 1 km 정도씩 감소하였다. 이는 E_b/N_0 를 증가시키면 전력을 더 작게 송신하게 되므로 얼랑용량 감소와 동시에 셀 커버리지도 감소한다.

그림 6은 개방지역에서 위와 동일조건에서 완벽한 전력제어를 한 경우 $E_b/N_0=5$ dB와 7 dB인 경우 각각의 얼랑용량 기준으로 동일하게 셀 커버리지가 각각 30 km, 27 km로 나타났고 E_b/N_0 의 2 dB 증가에 3 km 감소하였다. 이는 동일조건에서 교외지역에 비해서 20 km 이상 증가한다는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 불완전 전력제어를 한 경우, 주어진 차단확률에 따라 $E_b/N_0=5$ dB, 7 dB인 경우 셀 커버리지가 각각 23.5 km, 25 km, 27 km 와 21 km, 22 km, 23 km로 나타났으며, 이는 E_b/N_0 의 2 dB 증가로 0.5 km, 2 km, 5 km씩 감소하였다. 동일조건에서 개방지역이 교외지역에 비해서 16 km 이상씩 증가하였다.

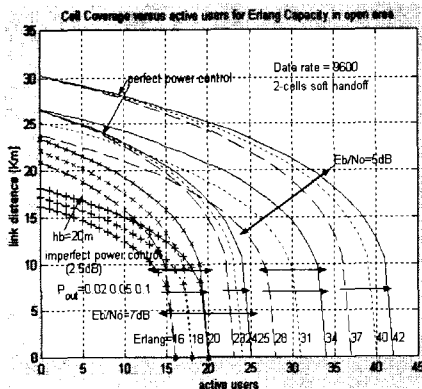


그림 6. 개방지역에서 얼랑용량에 따른 사용자 수와 셀 커버리지
 Fig. 6. Active user versus cell coverage for the Erlang capacity in an open area.

V. 결 론

본 연구에서는 시스템 파라미터 값과 차단확률이 동일한 조건에서 얼랑용량과 링크마진을 계산하여 셀 커버리지를 계산할 때 파라미터로 적용하였다. 이는 CDMA 시스템에서 현실적인 셀의 최대용량으로 얼랑용량을 계산함에 따라 실질적인 채널 수를 계산할 수 있고, 링크마진을 계산하여 도시, 교외, 개방지역에서 전파모델에 의한 전파손실을 구할 때 적용함으로써 셀 커버리지 계산에서 신뢰성을 높일 수 있었다.

불완전 전력제어와 소프트 핸드오프를 적용한 CDMA 시스템의 역방향 링크에서 신뢰할만한 링크 동작을 유지하면서 높은 간섭에서도 어느 정도 임계값에서 서비스 질을 허용하도록 E_b/N_0 값을 낮추어 차단확률을 일정범위 이내로 유지하고자 하는 경우에 링크마진은 동일한 값으로 적용해도 되지만 얼랑용량은 증가하였고, 도시, 교외, 개방지역 모두 셀 커버리지가 함께 증가하였다. E_b/N_0 값이 동일한 조건에서 차단확률의 증가에 따라 링크마진도 조정될 필요가 있었고, 또한 이 경우 링크동작의 신뢰성을 높이고 양질의 서비스 제공을 위해서 차단확률을 더 낮추어야 하는 경우 링크마진은 더 증가시켜 적용해야 하며, 이때 얼랑용량의 감소와 함께 각각의 지역에서 셀 커버리지도 조금씩 감소하였다.

따라서 CDMA 시스템의 역방향 링크에서 얼랑용량과 링크마진을 계산하여 시스템 분석시 고려한다면 현실적인 셀의 채널 수 계산은 물론 사용자 수와 셀 커버리지라는 관점에서 보다 더 타당한 시스템 설계기준이 될 것이고, 본 연구의 결과는 CDMA 시스템에서 셀의 최적설계를 위한 이론적 근거로 적용될 수 있을 것이다. 향후에는 IMT-2000 등 W-CDMA 시스템에 대한 얼랑용량과 셀 커버리지에 대한 연구를 계속 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] M. G. Jansen, R. Prasad, "Capacity, throughput, and delay analysis of a cellular DS CDMA system with imperfect power control and imperfect sectorization", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 44, no. 1, pp. 67-75, Feb. 1995.

- [2] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system", *IEEE J. on Selected Area Communication*, vol. 11, no. 6, Aug. 1993.
- [3] R. Padovani, "Reverse-link performance of IS-95 based cellular system", *IEEE Personal Communication Mag.*, vol. 11, no. 3, pp. 28-34, Third Quarter, 1994.
- [4] K. S. Gilhousen, et al., "On capacity of a cellular CDMA system", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 40, no. 2, pp. 303-312, May 1991.
- [5] A. J. Viterbi, et al., "Soft handoff extends CDMA cell coverage and increases reverse link capacity", *IEEE J. on Selected Area Communication*, vol. 12, no. 8, Oct. 1994.
- [6] S. C. Yang, *CDMA RF System Engineering*, Artech House, 1998.
- [7] V. K. Garg, *IS-95 CDMA and cdma 2000 Cellular/PCS System Implementation*, Prentice-Hall, 2000.
- [8] J. S. Lee, L. E. Miller, "On The Erlang capacity of CDMA cellular system", in *GLOBECOM'95 Conf.*, Singapore, pp. 1877-1883, Nov. 1995.
- [9] Q. Shen, W. A. Krzymien, "The effect of fading on the Erlang capacity of the IS-95 CDMA cellular system", *ICC '96 Conf.*, vol. 3, pp. 1829-1833, 1996.
- [10] V. V. Veeravalli, A. Sendonaris, "The coverage-capacity tradeoff in cellular CDMA system", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 48, no. 5, pp. 1443-1450, Sept. 1999.

권 영 수



1982년: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년: 충북대학교 정보통신공학과 박사수료
 1985년~1992년: LG 전자(주) 연구

소 선임연구원

1985년~1992년: 안양과학대학 전자과 전임대우교수
 1992년~현재: 주성대학 디지털정보통신공학과 부교수
 [주 관심분야] 디지털 이동통신, 정보통신 시스템, 마이크로컴퓨터 응용 설계

김 향 래



1995년: 청주대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년: 청주대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년: 충북대학교 정보통신공학과 박사수료
 1997년: 한국전자통신연구원 위촉

연구원

[주 관심분야] 디지털 이동통신, 무선시스템

김 남



1981년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1983년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1988년: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1992년~1993년: 미 Stanford 대학

방문교수

2001년~2001년: 미 California Technology Institute(Caltech) 방문교수

1989년~현재: 충북대학교 정보통신공학과 교수
 [주 관심분야] 디지털 이동통신, 무선시스템, 전자파해석, EMI/EMC, Diffractive Optics, WDM Optical Filter & DEMUX Optical Memory, Holography Application